

文章编号:1006-7736(1999)03-0017-04

航海模拟器中 DCPA TCPA 的算法<sup>\*</sup>史国友<sup>1</sup>, 贾传荧<sup>2</sup>

(1. 大连海事大学 航海学院, 辽宁 大连 116026;

2. 大连海事大学 航海技术研究所, 辽宁 大连 116026)

**摘要:**介绍 DCPA, TCPA 含义并给出不同坐标系间船舶状态的相互转换关系. 在此基础上提出一种通用快速求解 DCPA, TCPA 的算法模型. 该算法已应用于航海模拟器中, 运行可靠.

**关键词:**航海模拟器; DCPA; TCPA

**分类号:**U166.158 **文献标识码:**A

多功能航海模拟器是由一个教练员控制台和多个本船构成的, 它的研制开发是以 STCW'95 公约要求和我校模拟器训练教学实际需要为目标. 该系统具有雷达模拟器的全部功能, 如雷达标绘与避让, ARPA 训练等. 本文在考虑各种特殊会遇局面情况下建立了一个新的通用目标船 DCPA, TCPA 的计算模型, 以便在教练员控制台上能实时、动态、快速显示各目标船相对于各本船的 DCPA, TCPA 等信息.

## 1 DCPA, TCPA 的含义

确定船舶是否存在碰撞危险的最根本的因素是两船会遇时的 DCPA (Distance of close point of approaching) 即两船会遇时的最小通过距离, TCPA (Time to close point of approaching) 即两船到达最小会遇距离时的时间<sup>[1]</sup>. 也就是说, DCPA 是指本船中心到目标船相对运动航向线的最短距离.

如图 1 所示, 本船  $O$  位于  $O$  点, 船速为  $V_O$ , 目标船  $T$  位于  $T$  点, 船速为  $V_T$ ,  $V_r$  为目标船  $T$  相对于本船  $O$  的相对速度, 过  $T$  点作矢量线  $V_r$  的平行线  $TP$ , 则  $TP$  即为目标船  $T$  的相对于本船  $O$  的相对运动航向线, 过  $O$  作  $OP \perp TP$  于点  $P$ , 则按定义, DCPA 即为  $|OP|$ ,  $TCPA = |TP| / |V_r|$ <sup>[2]</sup>.

## 2 DCPA, TCPA 的计算模型

## 2.1 地理位置坐标与逻辑显示坐标的变换

<sup>\*</sup> 收稿日期: 1998-12-11

基金来源: 交通部重点科研资助项目 (95040313)

作者简介: 史国友 (1969~), 男, 讲师

本文提供的算法与《雷达观测与标绘》中求目标船的DCPA, TCPA的方法不一样. 在PLOTING训练中, 学员选用北向上相对运动显示方式, 测得目标船的两次回波的方位、距离及观测时间, 即可求出目标的DCPA, TCPA等. 而在航海模拟器系统内部, 本船和目标船的状态即航向、航速及地理位置是已知的, 地理位置用经纬度表示, 所以存在地理坐标与逻辑显示坐标的转换.

以训练水域海图北向上时的左下角为坐标原点 $O$ ,  $OY$ 轴向上,  $OX$ 轴向右, 单位为米. 设一纸质海图或纸质海图上的一裁剪矩形区域的左上角点

地理坐标为 $A(\lambda_1, \Phi_1)$ , 右下角点为 $B(\lambda_2, \Phi_2)$ ,  $M(\lambda, \Phi)$ 为图中任一点. 该图在图形显示器上显示时, 对应 $A, B$ 和 $M$ 点的逻辑显示坐标分别为 $a(x_1, y_1)$ ,  $b(x_2, y_2)$ 和 $m(X, Y)$ <sup>[3]</sup>, 见图2.

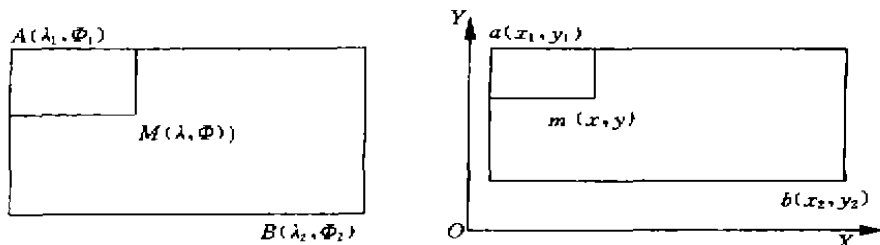


图2 地理坐标与逻辑显示坐标变换

又设 $A, B$ 和 $M$ 点的纬度渐长率分别为 $L_{\Phi_1}$ ,  $L_{\Phi_2}$ 和 $L_{\Phi_m}$ . 则有

$$\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda - \lambda_1} = \frac{X_2 - X_1}{X - X_1}, \frac{L_{\Phi_2} - L_{\Phi_1}}{L_{\Phi_m} - L_{\Phi_1}} = \frac{Y_2 - Y_1}{Y - Y_1} \quad (1)$$

由式(1)中可得到

$$\begin{cases} X = \frac{\lambda_2 X_1 - \lambda_1 X_2}{\lambda_2 - \lambda_1} + \frac{X_2 - X_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot \lambda, Y = \frac{L_{\Phi_2} Y_1 - L_{\Phi_1} Y_2}{L_{\Phi_2} - L_{\Phi_1}} + \frac{Y_2 - Y_1}{L_{\Phi_2} - L_{\Phi_1}} \cdot L_{\Phi_m} \\ \lambda = \frac{\lambda_1 X_2 - \lambda_2 X_1}{X_2 - X_1} + \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{X_2 - X_1} \cdot X, L_{\Phi_m} = \frac{L_{\Phi_1} Y_2 - L_{\Phi_2} Y_1}{Y_2 - Y_1} + \frac{L_{\Phi_2} - L_{\Phi_1}}{Y_2 - Y_1} \cdot Y \end{cases} \quad (2)$$

其中纬度渐长率的公式和墨卡托投影方程分别为

$$\begin{aligned} L_{\Phi} &= a \cdot \ln \left[ \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\Phi}{2} \right) \right] \left( \frac{1 - e \sin \Phi}{1 + e \sin \Phi} \right)^{e/2} \\ \Phi &= 2 \cdot \operatorname{arctg} \left\{ \exp \left[ \frac{L_{\Phi}}{a} - \frac{e}{2} \ln \left( \frac{1 - e \sin \Phi}{1 + e \sin \Phi} \right) \right] \right\} - \frac{\pi}{2} \end{aligned} \quad (3)$$

式中,  $\varphi$ 为地理纬度;  $L_{\Phi}$ 为墨卡托投影海图上的纬度渐长率;  $a$ 为根据克拉索夫斯基的资料得知在赤道外处地球的长半径;  $e$ 为地球偏心率;  $a = 3427.7468$  赤道海里;  $e = 0.081813334$ . 为了由上式求得 $\Phi$ , 采用如下迭代方程, 给定初始值 $\Phi_0$ , 则得到

$$\Phi_n = 2 \cdot \operatorname{arctg} \left\{ \exp \left[ \frac{L_{\Phi}}{a} - \frac{e}{2} \ln \left( \frac{1 - e \sin \Phi_{n-1}}{1 + e \sin \Phi_{n-1}} \right) \right] \right\} - \frac{\pi}{2}$$

其中,  $n = 1, 2, 3, \dots$ , 当  $|\varphi_n - \varphi_{n-1}| < 10^{-7}$  时, 取  $\varphi_n$  为所求纬度。

若已知  $M$  点的逻辑坐标为  $Y$ , 则由式(2)先求得相应的纬度渐长率, 再由式(3)迭代求出地理纬度。若已知  $M$  点的地理纬度为  $\varphi$ , 则选择式(3)求出其纬度渐长率  $L_\varphi$ , 再由式(2)求出其逻辑纵坐标  $Y$ 。

按照上述方法即可确定出船舶每时刻的状态, 设本船状态为  $(x_0, y_0, cc_0, w_0)$ , 目标船状态为  $(x_t, y_t, cc_t, w_t)$ , 其中  $x_0, y_0, x_t, y_t$  为逻辑显示坐标,  $cc_0, cc_t$  为船舶航向, 是以  $OY$  轴为始边, 顺时针方向为正, 反之为负,  $w_0, w_t$  为船舶速度。如图 3 所示。

## 2.2 DCPA 和 TCPA 算法模型

为方便理解和计算有关方向角, 建立如下计算坐标系, 坐标原点为本船中心,  $OY$  轴向上,  $OX$  轴向右, 在该坐标系下的本船状态为  $(0, 0, C_0, V_0)$ , 目标船状态为  $(X_T, Y_T, C_t, V_t)$ , 而且  $C_0, C_t$  是以  $OX$  轴为始边, 逆时针方向为正, 反之为负, 两船间距离为  $D_T$ , 如图 4 所示, 则

$$\begin{cases} X_T = y_t - y_0, Y_T = x_t - x_0, C_t = cc_t, V_t = w_t \\ C_0 = cc_0, V_0 = w_0, D_T = \sqrt{X_T^2 + Y_T^2} \end{cases}$$

设目标船  $T$  相对于本船  $O$  的相对速度为  $V_r$ ,  $V_r$  的航向角为  $C_r$ , 即以  $OX$  轴为始边  $V_r$  矢量所在的射线为终边的角, 则得到

$$\begin{cases} V_r = \sqrt{V_0^2 + V_t^2 - 2|V_0 V_t| \cos(C_t - C_0)} \\ C_r = a \tan 2(V_t \sin C_t - V_0 \sin C_0, V_t \cos C_t - V_0 \cos C_0) \end{cases}$$

设会遇点为  $P(X_p, Y_p)$ , 则  $TP$  的直线方程为  $X \cos C_r + Y \sin C_r = 0$

$$X \sin C_r - Y \cos C_r + Y_t \cos C_r - X_t \sin C_r = 0 \quad (4)$$

$OP$  的直线方程为  $X \cos C_r + Y \sin C_r = 0$ , 射线  $TP$  的航向角为  $C_{tp}$ , 即以  $OX$  轴为始边射线  $TP$

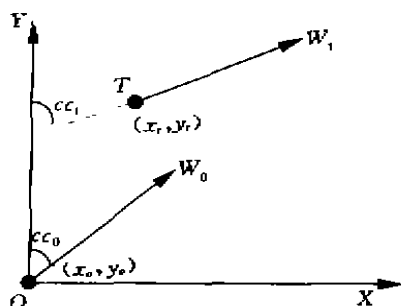


图3 船舶状态

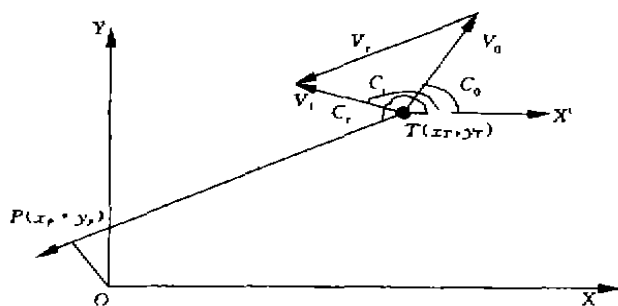


图4 计算坐标系

为终边的角, 所以得到

$$\begin{cases} X_p = (X_T \sin C_r - Y_T \cos C_r) \sin C_r; Y_p = (Y_T \cos C_r - X_T \sin C_r) \cos C_r \\ |TP| = \sqrt{(X_p - X_T)^2 + (Y_p - Y_T)^2}; C_{tp} = a \tan 2(Y_p - Y_T, X_p - X_T) \end{cases} \quad (5)$$

当  $|V_r| = 0$  时, 由式(4)和(5)得到

$$DCPA = |Y_T \cos C_r - X_T \sin C_r|; TCPA = |TP| / |V_r|$$

如果  $C_{tp}, C_r$  相等, 则 TCPA 为到达会遇点的时间, 否则为离开会遇点的时间并且用负值表示。当  $|V_r| = 0$  时,  $DCPA = D_T, TCPA = +\infty$

### 3 计算实例

本文为验证算法,特以 PLOTTING 练习题为例<sup>[2]</sup>.设本船航向  $135^\circ$  航速 12 kn,在荧光屏上发现 3 个回波 A、B、C,观测记录如下表 1 所示.

表 1 观测记录

目 标	第一次观测			第二次观测		
	时间	相对方位	距离(')	时间	相对方位	距离(')
A	0130	050°	9.0	0136	050°	7.0
B	0131	121°	8.7	0137	127°	9.3
C	0132	267°	8.1	0138	267°	8.1

经过坐标变换,本船在逻辑显示坐标系下状态为  $(x_0, y_0, cc_0, w_0) = (0, 0, 135, 12)$ , 在计算坐标系下状态为  $(X_0, Y_0, C_0, V_0) = (0, 0, 135, 12)$ , 目标船在两个坐标系状态如表 2 所示.

表 2 坐标系状态

目 标	逻辑显示坐标				计算坐标				计算结果	
	$x_t$	$y_t$	$cc_t$	$w_t$	$X_T$	$Y_T$	$C_T$	$V_T$	DCPA	TCPA
A	-1129.89	-12914.67	48.19	15.34	-12914.668	-1129.8870	48.19	15.34	0	21.018
B	-17055.98	-2397.06	19.70	0.89	-2397.06	-17055.98	19.70	0.89	7.78	-24.70
C	10037.76	11148.06	135	12	11148.06	10037.76	135	12	8.1	$+\infty$

上述计算结果与雷达标绘结果相一致.

### 4 结论

本文在综合考虑船舶间的各种会遇格局的基础上,提出一种通用快速求解 DCPA、TCPA 的算法模型.该算法已应用于航海模拟器中,经过多次测试,计算结果准确无误.

### 参 考 文 献

- [1] 吴兆麟.船舶避碰与值班[M].大连:大连海事大学出版社,1998.35.
- [2] 徐德兴.雷达观测与标绘[M].北京:人民交通出版社,1990.209-211.
- [3] 史国友.船舶操纵安全综合评判系统[D].大连:大连海事大学,1996.

## Algorithms of DCPA, TCPA for marine simulator

SHI Guo-you<sup>1</sup>, JIA Chuan-ying<sup>2</sup>

(1. Navigation College, Dalian Maritime Univ., Dalian 116026, China;

2. Nautical Science and Technology Institute, Dalian Maritime Univ., Dalian 116026, China)

**Abstract:** Based on the definition of DCPA and TCPA and the transformation between the different coordinate system, this paper concentrates on algorithms of DCPA and TCPA which is applied in marine simulator. After testing this algorithms, the reliable result is available.

**Key words:** marine simulator; DCPA; TCPA